***В. А. Бороденко***
***Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова***
***(г. Павлодар, Казахстан)***

# ОБ ОШИБКАХ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ КРИТЕРИЯ НАЙКВИСТА

Для оценки устойчивости в процессе синтеза и анализа систем автоматического регулирования используется критерий Найквиста. В учебниках и пособиях по теории автоматического управления, как правило, приводятся примеры годографа Найквиста для устойчивых и неустойчивых систем без указания порядка самой системы и вида передаточной функции. Исследования показали, что подобные иллюстрации могут трактоваться неоднозначно и вести к ложным выводам.

Как известно, запас устойчивости по амплитуде $A_m$ устойчивой системы равен расстоянию от критической точки ( - 1, *j*0) до ближайшей точки пересечения АФЧХ с отрицательной действительной полуосью. Запас устойчивости по фазе $\varphi_m$ равен углу между отрицательной действительной полуосью и лучом, проведенным из начала координат в точку пересечения АФЧХ с дугой единичного радиуса [1].

Возьмем в качестве примера годограф Найквиста (рис. 1), построенный в программной среде LinCAD [2], разработанной в ПГУ им. С. Торайгырова.

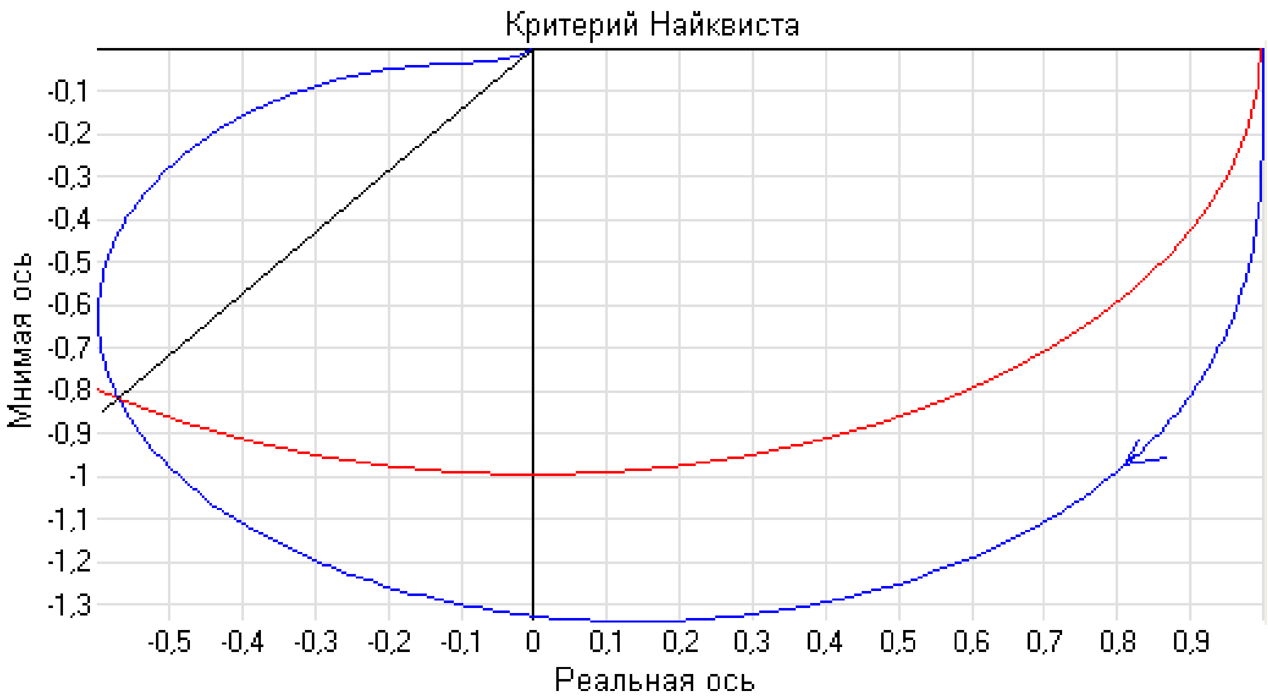


Рис. 1. Годограф Найквиста

По всем признакам система, имеющая подобный годограф, устойчива, так как легко определяются значения запасов устойчивости по амплитуде и фазе, равные соответственно $A_m$ = 1 и $\varphi_m$ = 55°. Такое заключение было бы правильным для системы второго порядка без нулей в числителе передаточной функции (ПФ).

На самом же деле годограф построен для системы, имеющей в разомкнутом состоянии передаточную функцию вида

$$W(s) = \frac{1}{s^{10} + 3s^9 + 2s^8 + 6s^7 + 4s^6 + 5s^5 + 2s^4 + 3s^3 + 4s^2 + 2s + 1}. \qquad (1)$$

Характеристический полином этой системы содержит две пары правых комплексных полюсов 0,693±*j*0,613 и 0,354±*j*1,236 до замыкания и две пары правых комплексных полюсов 0,714±*j*0,588 и 0,364±*j*1,225 после замыкания. Следовательно, система после замыкания единичной отрицательной обратной связью будет неустойчива, и вывод, сделанный по графику без учета параметров передаточной функции, неверен.

Поскольку при одном и том же годографе Найквиста (рис. 1) система второго порядка устойчива, а система порядка выше второго без нулей в числителе передаточной функции неустойчива, график должен сопровождаться указанием на порядок и вид ПФ системы.

Рассмотрим также возможность неправильной оценки устойчивости по годографу Найквиста для системы

$$W(s) = \frac{1}{s^{10} + 3s^9 + 2s^8 + 6s^7 + 4s^6 + 5s^5 + 2s^4 + 3s^3 + 4s^2 + 2s},$$

имеющей в знаменателе до замыкания нулевой корень (рис. 2).

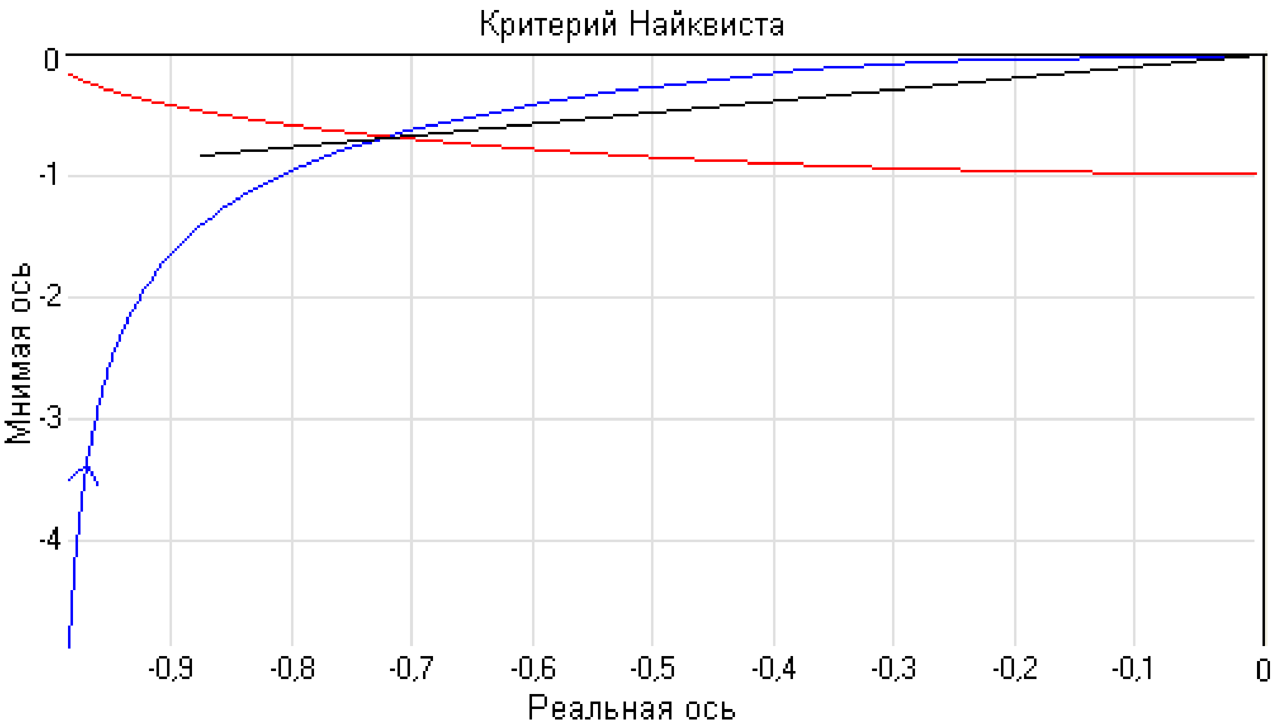


Рис. 2 Годограф Найквиста для системы, имеющей в знаменателе до замыкания нулевой корень

В данном случае запасы устойчивости по амплитуде и фазе ($A_m$ = 1, $\varphi_m$ = 43,6°) также легко определяются в соответствии с общепринятыми правилами, так что система может быть признана устойчивой, хотя имеет на самом деле две пары правых комплексных полюсов до и после замыкания.

Лучше обстоит дело с критерием Найквиста в логарифмическом виде, т. е. с диаграммой Боде (рис. 3), поскольку здесь обратный ход ЛФЧХ при частоте 1 рад/с должен навести на мысль, что с системой (1) что-то неладно и, возможно, уберечь от неверного вывода. Колебания фазовой характеристики указывают на то, что система не является минимально-фазовой и имеет по крайней мере один полюс с положительной действительной частью – вектор $W(j\omega)$ движется в обратную сторону.

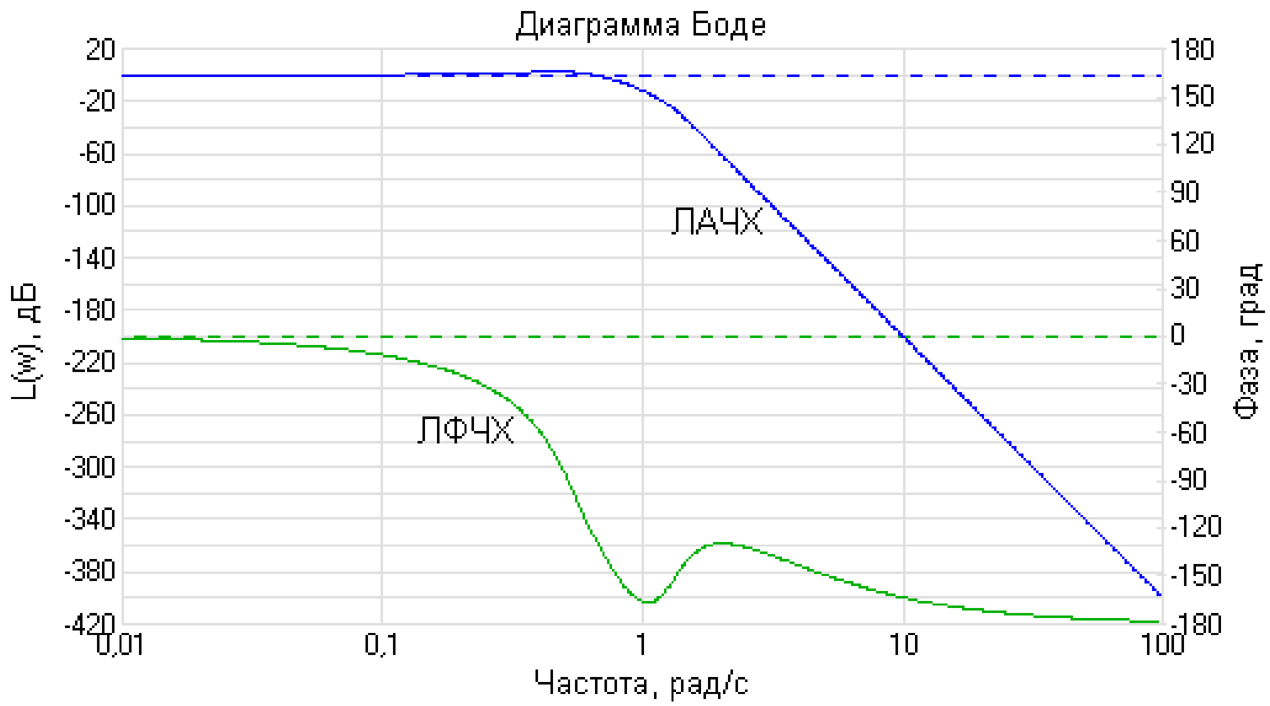


Рис. 3. Диаграмма Боде

Наконец, оценим устойчивость замкнутой системы, ПФ которой в разомкнутом состоянии равна

$$W(s) = \frac{s-1}{s^3 + s^2 - s - 1}. \tag{2}$$

АФЧХ имеет вид, соответствующий устойчивой замкнутой системе второго порядка (рис. 4), и без анализа передаточной функции правильный вывод невозможен. На самом деле замкнутая система неустойчива, так как в ее характеристическом полиноме $D(s) = s^3 + s^2 - 2$ имеется правый корень 1,0.

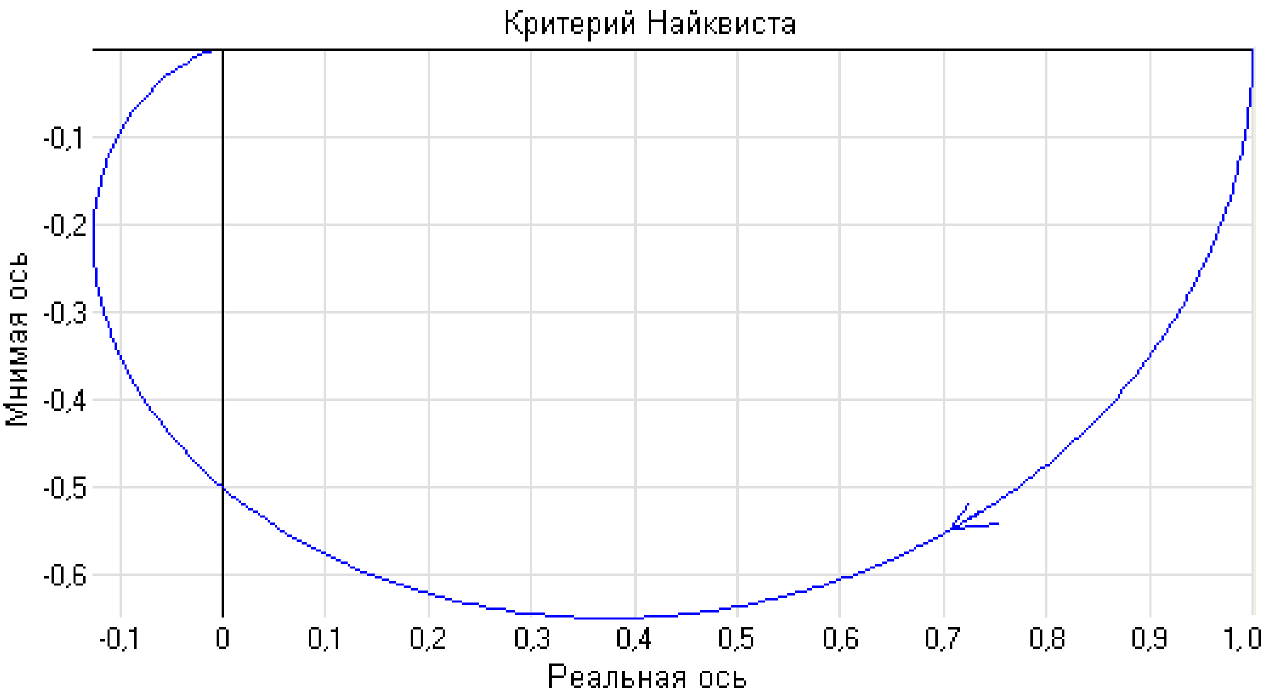


Рис. 4. Критерий найквиста

Между тем аналогичный годограф был представлен как вопрос в централизованной системе тестирования ВОУД с предполагаемыми в качестве правильных ответами:

А) АФЧХ соответствует устойчивой замкнутой системе;

В) АФЧХ соответствует разомкнутой системе с двумя корнями характеристического уравнения;

С) АФЧХ соответствует разомкнутой системе с ПФ $W(s) = k/((T_1s+1)(T_2s+1))$.

Как следует из вышеизложенного, для системы (2) эти ответы не являются правильными, несмотря на вид годографа.

Таким образом, представленные примеры подтверждают некорректность применения годографа Найквиста для оценки устойчивости системы без учета хотя бы порядка системы (как это необходимо и для критерия Михайлова).

Список использованных источников

1. Бороденко В. А. Теория линейных систем автоматического регулирования: учеб. пособие. - Павлодар: Кереку, 2010. - 129 с.

2. Бороденко В. А. Практический курс теории линейных систем автоматического регулирования: учеб. пособие. - Павлодар: Кереку, 2007. - 260 с.